

Г. И. МАХОНИНА, Н. А. СТЕЦЮРА

## К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ФОСФОРА В ЗОЛЕ ОТВАЛОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ УРАЛА

Отвалы золы на тепловых электростанциях — один из широко распространенных видов промышленных отвалов, создаваемых при сжигании многозольных углей тонкого помола.

Пространства, занятые ими в СССР, довольно значительны, они имеются около каждой ТЭЦ и занимают площади от десятков до нескольких сотен гектаров (Пасынкова, 1974).

Использование золы отвалов в качестве вторичного сырья еще весьма ограничено, и поэтому наиболее эффективный способ рекультивации золоотвалов, т. е. устранение вредного влияния на окружающую среду, возврат занятых ими площадей в продуктивно-хозяйственное использование, — их фитомелиорация.

Для успешного проведения фитомелиоративных работ необходимо оценить золу в качестве субстрата для выращивания растений. М. В. Пасынковой (1974) обобщены имеющиеся литературные сведения по этому вопросу и сделан вывод, что зола является вполне пригодным субстратом для растений, хотя и бедным такими важными элементами питания, как азот, калий и отчасти фосфор.

Содержание подвижных форм  $K_2O$  и  $P_2O_5$  в золе и в других породах промышленных отвалов является одним из важных показателей пригодности их для биологической рекультивации.

Оценка обеспеченности золы подвижными формами питательных элементов в настоящее время производится агрохимическими методами, разработанными для тех или иных почвенных типов и механически переносимыми на новые (в том числе техногенные) субстраты (золы, шламы); нередко не имеющие прямых аналогов в природе. Часто исследователи не дают обоснования причины выбора ими того или иного метода анализа или вообще не указывают метод. Не принимается также во внимание, что используемые в почвоведении и агрохимии методы определения подвижных форм элементов разработаны преимущественно для гумусных (пахот-

ных) горизонтов. Именно для них (а не для минеральных, расположенных глубже) наблюдается хорошая корреляция между найденной степенью обеспеченности элементом и отзывчивостью растений на удобрения. Поскольку субстраты отвалов, в частности золы ТЭЦ, не похожи на гумусовые горизонты почв, совершенно необходима проверка пригодности для них существующих химических методов определения доступных форм элементов. Такое исследование выполнено нами применительно к известным методам определения фосфора в почвах — Кирсанова, Чирикова, Мачигина и Энгера-Рима. Проверка проведена на золах ТЭЦ Урала в условиях вегетационного опыта.

Субстратом для выращивания растений (ячмень, сорт Красноуфимский, урожай 1970 г.) взята зола отвалов Верхнетагильской ГРЭС (сжигаются бурые угли Богословского месторождения), Красногорской ТЭЦ (бурые угли Челябинского и Экибастузского месторождений) и Среднеуральской ГРЭС (угли Экибастузского месторождения). Контролем служили природный кварцевый песок (очистке не подвергался) и чернозем обыкновенный (гор. А 0—20 см) Свердловской области (р-н Арамиля). Опыт поставлен в ботаническом саду Уральского университета летом 1972 г.

Ячмень выращивали в полиэтиленовых сосудах 14,5×14,5 см в трех повторностях по схеме (см. табл. 1). Дозы удобрений рассчитывались по питательной смеси Прянишникова. Азот ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) вносился из расчета 0,24 г соли на 1 кг золы или песка, фосфор — в виде соли  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  из расчета 0,17 г на 1 кг золы и калий (KCl) — по 0,15 г соли на 1 кг золы или песка. В каждый сосуд высевали по 6 семян ячменя. Полив производился дистиллированной водой по весу до 60% от полной влагоемкости. Опыт длился 1,5 месяца, до начала колошения растений.

После окончания опыта растения делились на наземную часть и корни. Корни отмывались водой, высушивались (как и надземная часть) до постоянного веса при  $t=105^\circ\text{C}$ , затем взвешивались и измельчались.

Озоление сухого вещества проводилось по методу В. Пиневица в модификации В. Г. Куркаева (1959) концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с добавлением  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Азот определялся по методу Несслера, калий — кобальтинитритным нефелометрическим методом, валовой кальций — комплекснометрическим методом (Аринушкина, 1970).

Агрохимическая характеристика субстратов и результаты определения подвижного фосфора разными методами представлены в табл. 2, из которой видно, что золы имеют щелочную реакцию, обусловленную присутствием карбонатов (сильное вскипание при высоком содержании Са), очень бедны азотом, но содержат много углерода от неперегоревших остатков угля, близки к почве по валовому содержанию фосфора и характеризуются низким содержанием подвижных форм калия (по Мачигину). Кварцевый песок

Схема вегетационного опыта

| Субстрат                   | Вариант опыта  |
|----------------------------|--|
| Песок кварцевый            | песок<br>песок + 0,05 г $\text{CaHPO}_4$ на кг<br>песок + 0,10 г »<br>песок + 0,15 г »<br>песок + 0,17 г »                       |
| Песок кварцевый            | песок + NK<br>песок + NK + 0,05 г $\text{CaHPO}_4$ кг<br>песок + NK + 0,10 г »<br>песок + NK + 0,15 г »<br>песок + NK + 0,17 г » |
| Зола Верхнетагильской ГРЭС | зола<br>зола + NK<br>зола + N + K + P  |
| Зола Красногорской ТЭЦ     | зола<br>зола + NK<br>зола + N + K + P  |
| Зола Среднеуральской ГРЭС  | зола<br>зола + NK<br>зола + NK + P   |
| Чернозем                   | без удобрений  |

также имеет щелочную реакцию, еще более низкое содержание N, Ca, K и P; в нем нет углерода.

В опыте все четыре метода показали очень высокую и высокую обеспеченность золы подвижными формами фосфатов, среднюю и высокую — песка, среднюю и низкую — чернозема (Хейфец, 1960).

Анализ группового состава фосфатов по методу Чирикова (Соколов, 1960) показал наличие всех определяемых групп фосфатов (табл. 3), однако количество их в разных золах оказалось неодинаковым. В золах Верхнетагильской ГРЭС и Красногорской ТЭЦ примерно половина фосфатов приходится на долю фосфатов Fe и Al (52—56%), затем идут фосфаты Ca, Mg и Na (13,7—18,3%), предпоследнее место занимают фосфориты и апатиты (14 и 16,5%) и последнее — соединения фосфора с органической частью золы (5,2 и 6,2%). В золе Среднеуральской ГРЭС наибольшее количество фосфатов находится в виде солей Ca, Mg и Na (44%). Затем идут фосфаты Fe и Al (28%), увеличена доля

# Агрохимическая характеристика суб

| Субстрат                             | Механический состав | Полная влагоемкость, % | pH   | N, %  |
|--------------------------------------|---------------------|------------------------|------|-------|
| Песок кварцевый . . . . .            | песок               | 40                     | 7,8  | 0,001 |
| Зола Верхнетагильской ГРЭС . . . . . | супесь              | 10                     | 8,00 | 0,02  |
| Зола Красногорской ТЭЦ . . . . .     | супесь              | 40                     | 8,06 | 0,02  |
| Зола Среднеуральской ГРЭС . . . . .  | супесь              | 24                     | 8,02 | 0,02  |
| Чернозем А (0—20 см) . . . . .       | суглинок            | 61,6                   | 6,6  | 0,95  |

фосфатов и апатитов (22%), и, как в предыдущих золах, последнее место занимают соединения фосфора с органической частью (7,5%). В песке фосфаты находятся главным образом в виде фосфорита и апатита и солей Са, Mg и Na (31,8%); доля фосфатов Fe и Al и связанных с органическими веществами невелика (7,8%). Следует отметить, что в песке органические соединения не были обнаружены и, видимо, в вытяжке  $\text{NH}_4\text{OH}$  присутствуют фосфаты, растворимые в щелочной среде.

Доступность растениям разных групп фосфатов, как известно, неодинакова и зависит она от величины pH почвенного раствора, разной растворимости солей и других причин. Усвояемость органических фосфатов растениями невелика, и их фосфорная кислота в питании растений принимает участие главным образом после отщепления. Все однозамещенные фосфаты растворимы в воде, из двухзамещенных и трехзамещенных растворимы только соли щелочных металлов. Двух- и трехзамещенные фосфаты Са легко растворяются в кислотах, поэтому, видимо, в золах с  $\text{pH}=8,0$  они не будут существенным поставщиком фосфатов растениям (Блэк, 1973). Растворимость фосфатов полуторных окислов уменьшается с приближением реакции среды к слабокислой (Соколов, 1950) и увеличивается в щелочной среде (Блэк, 1973). Фосфориты и апатиты растворимы только в кислой среде и поэтому в золах могут являться лишь резервом фосфора.

По результатам анализа группового состава фосфатов можно сделать вывод, что в изучавшихся золах, величина pH которых колеблется от 8 до 8,06, источником фосфора для растений будут фосфаты Fe и Al и отчасти двухзамещенные фосфаты Са и Mg, а также все воднорастворимые формы (однозамещенные фосфаты Са и Mg и фосфаты щелочных элементов). Следовательно, в наших золах есть фосфаты в доступных для растений формах, что согласуется с результатами определения подвижных форм фосфатов четырьмя различными методами (см. табл. 3).

Однако ранее проведенные вегетационные опыты по выращиванию растений (горох, ячмень, люпин, донник, редис, салат) на

Таблица 2

стратов, использованных в опыте

| C, %    | Ca, %<br>валовой | K <sub>2</sub> O<br>мг/100 г | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %<br>валовой | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>мг/100 г<br>(по Кир-<br>санову) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>мг/100 г<br>(по Чири-<br>кову) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>мг/100 г<br>(по Мачи-<br>гину) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>мг/100 г<br>(по Энгеру-<br>Риму) |
|---------|------------------|------------------------------|--|--|---|---|---|
| нет     | 1,15             | 2,06                         | 0,04   | 12,0   | 7,25  | 2,6   | 10,0  |
| 8,7     | 7,35             | 5,20                         | 0,13   | 64,0   | 19,5  | 8,4   | 22,0  |
| 1,5     | 7,61             | 5,60                         | 0,19   | 70,0   | 29,0  | 13,0  | 36,0  |
| 1,7     | 7,99             | 5,80                         | 0,14   | 56,0   | 40,0  | 13,4  | 54,0  |
| не опр. | не опр.          | 7,00                         | 0,17   | 7,5  | 8,0   | 2,5   | 5,0   |

Таблица 3

Групповой состав фосфатов в золах, %

| Субстрат                           | H <sub>2</sub> O, насы-<br>щенная CO <sub>2</sub> | 0,5 Н<br>CH <sub>3</sub> COOH | 0,5 Н<br>HCl | NH <sub>4</sub> OH<br>3Н |
|------------------------------------|---|-------------------------------|--------------|--------------------------|
| Песок кварцевый . . . . .          | 11,4  | 20,4                          | 3,6          | 4,2                      |
| Зола Верхнетагильской ГРЭС . . . . | 19,0  | 14,0                          | 56,0         | 8,3                      |
| Зола Красногорской ТЭЦ . . . . .   | 22,0  | 16,5                          | 52,6         | 6,2                      |
| Зола Среднеуральской ГРЭС . . . .  | 41,0  | 22,0                          | 28,0         | 7,1                      |

золах (Красногорской ТЭЦ и Нижнетуриной ГРЭС) показали, что содержание фосфора в растениях примерно в 2 раза ниже, чем в тех же видах, но выросших на черноземе, несмотря на высокую степень обеспеченности золы подвижными фосфатами (оценена с применением тех же 4 методов).

Так как золы практически не содержат азота, а подвижные формы калия в них имеются (правда, в небольших количествах), первоначально предполагалось, что именно недостаток азота не дает возможности растениям использовать доступный фосфор. Однако внесение азотных удобрений в опыте не увеличило усвоение фосфора и даже несколько снизило его.

Поэтому в описываемом опыте с ячменем были предусмотрены варианты с совместным внесением NK и NPK. Предположили, что если внесение NK не увеличит усвоение фосфора, а внесение NPK его увеличит, следовательно, существующие методы определения подвижных форм фосфора к золам малоприменимы. Результаты опыта приведены в табл. 4, 5.

Уже наблюдения за ростом и развитием ячменя показали существенные различия по вариантам опыта. Ячмень, выращиваемый на чистой золе, имеет разбросанные желтые пятна на листьях, пожелтевшие концы их, меньшее количество стеблей и меньшую

Таблица 4

**Высота и биомасса растений ячменя в разных вариантах опыта  
через 10, 20 и 30 дней после посева, см**

| Субстрат                   | Вариант опыта  | Высота, см |         |         | Биомасса, г/сосуд |            |
|----------------------------|--|------------|---------|---------|-------------------|------------|
|                            |  | 10 дней    | 20 дней | 30 дней | над-земная        | под-земная |
| Песок кварцевый            | песок  | 10         | 11      | 11,5    | 0,35              | 0,39       |
|                            | песок + 0,05 г $\text{CaHPO}_4/\text{кг}$ . . .      | 11         | 11,5    | 12      | 0,35              | 0,32       |
|                            | песок + 0,10 г » . . .                               | 11         | 12,0    | 12      | 0,37              | 0,49       |
|                            | песок + 0,15 г » . . .                               | 11,5       | 12,0    | 13      | 0,41              | 0,52       |
|                            | песок + 0,17 г » . . .                               | 11,5       | 12,5    | 13      | 0,50              | 0,54       |
| Песок кварцевый            | песок + NK   | 11         | 13      | 14      | 0,70              | 0,60       |
|                            | песок + NK + 0,05 г $\text{CaHPO}_4/\text{кг}$ . . . | 11,5       | 13      | 14      | 0,78              | 0,80       |
|                            | песок + NK + 0,10 г » . . .                          | 11,8       | 13,5    | 14,5    | 1,00              | 1,00       |
|                            | песок + NK + 0,15 г » . . .                          | 12,0       | 13,5    | 15      | 1,04              | 1,09       |
|                            | песок + NK + 0,17 г » . . .                          | 12,5       | 13,8    | 15      | 1,10              | 1,13       |
| Зола Верхнетагильской ГРЭС | зола . . . . .                                       | 10         | 14      | 18      | 0,60              | 0,32       |
|                            | зола + NK . . . . .                                  | 14         | 17      | 25      | 1,16              | 0,59       |
|                            | зола + NPK . . . . .                                 | 14,8       | 19      | 27      | 1,23              | 0,95       |
| Зола Красногорской ТЭЦ     | зола . . . . .                                       | 10         | 12      | 16      | 0,86              | 0,39       |
|                            | зола + NK . . . . .                                  | 14         | 18      | 28      | 2,71              | 1,00       |
|                            | зола + NPK . . . . .                                 | 14,5       | 20      | 30      | 3,04              | 1,09       |
| Зола Среднеуральской ГРЭС  | зола . . . . .                                       | 10         | 11      | 14      | 0,90              | 0,70       |
|                            | зола + NK . . . . .                                  | 12         | 12,6    | 22      | 2,60              | 1,30       |
|                            | зола + NPK . . . . .                                 | 12,5       | 12,6    | 24,6    | 2,80              | 1,40       |
| Почва                      | без удобрений . . . . .                              |            |         |         | 1,47              | 0,58       |

высоту по сравнению с другими вариантами опыта. Как видно из табл. 4, на неудобренных золах ячмень отставал в росте на 8—47%, причем в варианте «зола+NK», по сравнению с вариантом «зола+NPK», отставание было не столь существенным по сравнению с чистой золой без удобрения. Ячмень, росший на песке, в различных вариантах опыта имел высоту меньшую, чем на золе и лишь внесение удобрений NK и NK+повышавшиеся дозы фосфора увеличивало ее.

Биомасса ячменя значительно возрастает в вариантах с внесением NK и NPK. На золе Верхнетагильской ГРЭС она увеличилась примерно в 2 раза, на золе Красногорской ТЭЦ в 3—3,5 раза и на золе Среднеуральской ГРЭС в 2,9—3,1 раза, при-

Таблица 5

Содержание N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O и Ca в ячмене в разных вариантах опыта,  
% на сухое вещество (в числителе — содержание в надземной части,  
в знаменателе — в корнях)

| Субстрат                   | Вариант опыта                                   | N    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | Ca   |
|----------------------------|---|------|-------------------------------|------------------|------|
| Песок кварцевый            | Песок . . . . .                                 | 0,70 | 0,22                          | 0,52             | 0,16 |
|                            |   | 0,52 | 0,20                          | 0,43             | 0,20 |
|                            | Песок + 0,05 г CaHPO <sub>4</sub> /кг . . . . . | 0,71 | 0,26                          | 0,53             | 0,12 |
|                            |   | 0,56 | 0,29                          | 0,43             | 0,17 |
|                            | Песок + 0,10 г » . . . . .                      | 0,73 | 0,33                          | 0,52             | 0,26 |
|                            |   | 0,56 | 0,24                          | 0,51             | 0,22 |
|                            | Песок + 0,15 г » . . . . .                      | 0,73 | 0,26                          | 0,58             | 0,25 |
|                            |   | 0,56 | 0,21                          | 0,61             | 0,28 |
|                            | Песок + 0,17 г » . . . . .                      | 0,79 | 0,37                          | 0,59             | 0,26 |
|                            |   | 0,63 | 0,30                          | 0,60             | 0,22 |
| Песок кварцевый            | Песок + NK . . . . .                            | 1,85 | 0,23                          | 1,01             | 0,29 |
|                            |   | 1,13 | 0,31                          | 0,93             | 0,22 |
|                            | Песок + NK 0,05 NK . . . . .                    | 1,95 | 0,32                          | 1,04             | 0,28 |
|                            |   | 1,16 | 0,38                          | 0,95             | 0,21 |
|                            | Песок + NK 0,10 » . . . . .                     | 2,00 | 0,36                          | 1,07             | 0,20 |
|                            |   | 1,18 | 0,40                          | 1,04             | 0,19 |
|                            | Песок + NK 0,15 » . . . . .                     | 2,06 | 0,38                          | 1,10             | 0,12 |
|                            |   | 1,18 | 0,47                          | 1,03             | 0,20 |
|                            | Песок + NK 0,17 » . . . . .                     | 2,10 | 0,40                          | 1,12             | 0,26 |
|                            |   | 1,20 | 0,52                          | 1,04             | 0,21 |
| Зола Верхнетагильской ГРЭС | Зола . . . . .                                  | 1,02 | 0,40                          | 0,91             | 0,26 |
|                            |   | 0,82 | 0,40                          | 0,96             | 0,29 |
|                            | Зола + NK . . . . .                             | 1,92 | 0,93                          | 1,18             | 0,27 |
|                            |   | 1,00 | 0,60                          | 1,00             | 0,30 |
|                            | Зола + NPK . . . . .                            | 1,94 | 0,96                          | 1,21             | 0,30 |
|                            |   | 1,05 | 0,72                          | 1,05             | 0,31 |
| Зола Красногорской ТЭЦ     | Зола . . . . .                                  | 1,06 | 0,39                          | 0,58             | 0,23 |
|                            |   | 0,94 | 0,40                          | 0,75             | 0,20 |
|                            | Зола + NK . . . . .                             | 2,02 | 0,95                          | 1,47             | 0,29 |
|                            |   | 2,00 | 0,93                          | 1,00             | 0,25 |
|                            | Зола + NPK . . . . .                            | 2,02 | 1,00                          | 1,50             | 0,30 |
|                            |   | 2,09 | 1,02                          | 1,00             | 0,29 |

| Субстрат                   | Вариант опыта        | N    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | Ca   |
|----------------------------|----------------------|------|-------------------------------|------------------|------|
| Зола Средне-уральской ГРЭС | Зола . . . . .       | 1,02 | 0,41                          | 0,66             | 0,29 |
|                            |                      | 0,72 | 0,35                          | 0,83             | 0,25 |
|                            | Зола + NK . . . . .  | 2,22 | 0,96                          | 1,49             | 0,30 |
|                            |                      | 1,13 | 0,72                          | 0,93             | 0,25 |
|                            | Зола + NPK . . . . . | 2,24 | 1,00                          | 1,51             | 0,30 |
|                            |                      | 1,13 | 0,88                          | 0,98             | 0,28 |
| Чернозем                   | Почва . . . . .      | 1,32 | 0,98                          | 0,94             | —    |
|                            |                      | 1,80 | 0,90                          | 1,85             |      |

чем в вариантах с NPK она была незначительно выше, чем биомасса в вариантах только с NK. Биомасса ячменя, выросшего на песке, оказалась значительно меньшей, чем на золе, являющейся более благоприятным субстратом для растений. Весьма интересен и тот факт, что в вариантах «зола+NK» и «зола+NPK» вес ячменя был выше, чем вес растений с неудобренного чернозема примерно в 2 раза. Очевидно, при условии внесения удобрений и при оптимальном увлажнении на золе углей можно получать хорошие урожаи растений. Однако необходимо еще оценить минеральную полноценность такого ячменя, так как известно, что зависимость между концентрациями элементов в субстрате и выращиваемых на них растениях прослеживается достаточно легко (Ринькис, 1972). Результаты химического анализа фитомассы ячменя в разных вариантах опыта, представленные в табл. 5, показали следующее.

При внесении в песок увеличивающихся доз фосфора в ячмене возрастает; хотя и незначительно, содержание N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O и Ca. Увеличение Ca может быть объяснено тем, что фосфаты вносились в виде СаНРО<sub>4</sub>, т. е. в форме кальциевой соли. Лучшее же усвоение азота и калия может быть объяснено лишь взаимосвязью их в процессе питания растений (различия между вариантами «чистый песок» и «песок+0,17 г фосфатов» достоверны).

Внесение в песок азотных и калийных удобрений примерно в 2—3 раза увеличило содержание азота в ячмене, в 2 раза — K<sub>2</sub>O и в 1—1,7 раза фосфора (по сравнению с вариантом «песок+фосфорные удобрения»). При сравнении же накопления ячменем фосфора в вариантах «песок+NK» и «песок+NPK — 0,17» видно, что содержание фосфора увеличилось почти в 1,7 раза в наземной части и корнях. Сходная картина наблюдается и в вариантах с золами. При внесении азотных и калийных удобрений увеличивается содержание азота (в 2 раза), калия (в 1,3—2,5 раза) и фосфора (в 2,3—2,7 раза) в ячмене.

Дополнительное же внесение фосфора вместе с азотными и



калийными удобрениями увеличивает накопление фосфора, калия и азота весьма незначительно.

Следовательно, ячмень, выращенный на чистых золах, содержащих вполне достаточное количество подвижных форм фосфора, не мог его усваивать только из-за недостатка азота и калия, так как внесение одного азота не исправляло положения.

С внесением N и K содержание фосфора в ячмене достигло нормальных значений: N—2,4%;  $P_2O_5$ —1,05%;  $K_2O$ —1,55%; CaO—0,43%. (Чернавин, 1948). Весьма интересно также, что содержание основных микроэлементов (N, P, K, Ca) соответствует приведенному в литературе и несколько превосходит по значениям вариант с черноземом. К тому же, как уже указывалось, сухой вес ячменя, выросшего на удобренных золах, выше, чем на черноземе. Все это убеждает в том, что на золах в условиях нормального минерального питания и оптимального увлажнения можно получать урожаи ячменя даже больше, чем на неудобренном черноземе. Сходная качественно картина получена и другими авторами на породах отвалов добывающей промышленности (Бекаревич, Галай, 1974).

Таким образом, по результатам анализа группового состава фосфатов, определения подвижных форм фосфатов разными методами (методы Кирсанова, Чирикова, Мачигина и Энгер-Рима), химического состава и урожая ячменя можно утверждать, что в золах содержатся доступные растениям формы фосфора. Следовательно, рассмотренные методы определения подвижных форм фосфора можно использовать для характеристики обеспеченности золы этими элементами, придерживаясь для получения сравнимых материалов переводных коэффициентов в ряду Мачигин—Чириков—Энгер-Рим—Кирсанов: 1—2,5—3—5.

Однако, как известно, в почвоведении для карбонатных почв (золы являются карбонатными субстратами) используется метод Мачигина как наиболее отвечающий условиям минерального питания растений. Следовательно, именно его можно рекомендовать для определения подвижных форм фосфатов в золах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Аринюшкина Е. В., 1970. Руководство по химическому анализу почв. М.  
Бекаревич Н. Е., Галай П. В., 1974. Вегетационные опыты с ячменем на вскрышных породах Никопольского марганцеворудного, Лебединского железорудного карьеров и на шахтных отвалах Западного Донбасса. В сб. «Рекультивация земель». Днепропетровск.  
Блэк К. Э., 1973. Растение и почва. М.  
Куркаев В. Г., 1959. Укоренное определение азота, калия и фосфора в растениях из одной навески. «Почвоведение», № 9.  
Пасынкова М. В., 1974. Зола углей как субстрат для выращивания растений. В сб. «Растения и промышленная среда», № 3. Свердловск.  
Ринькис Г. Я., 1972. Оптимизация минерального питания растений. Рига.  
Соколов А. В., 1950. Агрохимия фосфора. Агрохимические методы исследования почв. М.—Л.  
Хейфец Д. М., 1960. В сб. «Агрохимические методы исследования почв». М.  
Чернавин А. С., 1948. Основы агрохимии. М.